

um so unrichtiger. Da die Erhebung des Steines gegenüber der Senkung der Koppel mit wachsender Auslenkung immer kleiner werden sollte, so müssten die beiden Aufwerfhebel den stumpfen Winkel auf der Seite einschliessen, auf welcher die Exzenterstange des bevorzugten Drehungssinnes an der Koppel angreift. Die günstigsten Verhältnisse müssen ausprobiert werden. Neuere Ausführungen dieses Trick'schen Hebels sind mir nicht bekannt.

Eine andere Abart der Steuerung von Allan, die von Hunaeus*, scheint auch nur Vorschlag geblieben zu sein. Hunaeus und Allan stehen sich gleich gegenüber, wie Fink und Gooch. Hunaeus will auch nur ein Exzenter mit 90° Voreilwinkel anwenden. Die sehr kurze Exzenterstange besteht aus einem Stücke mit der geradlinigen Koppel. Diese und der Stein an der Schieberschubstange werden durch einen Allan'schen Aufwerfhebel in richtiger gegenseitiger Höhenlage eingestellt. Durch die Kürze der Exzenterstange wird aber die Gleichförmigkeit der Schieberbewegung beeinträchtigt, wie bei Fink.

II. Abschnitt.

Umsteuerungen mit unveränderlicher Koppel.

1. Kapitel.

Die Umsteuerung von Walschaert.**

§ 38. Beschreibung der Steuerung.

Das Gerippe der Steuerung von Walschaert ist in Fig. 41, Taf. VI, in kräftigen Linien dargestellt. In ihr beziehen sich alle einfachen Buchstaben auf eine allgemeine Stellung der Kurbel, während die mit einem Striche oben für den linken, die mit zwei Strichen für den rechten toten Punkt der Kurbel gelten.

* Civilingenieur 1873, Bd. XIX, S. 221.

** Diese Steuerung habe ich in der ersten Auflage, wie es in Deutschland auch jetzt noch allgemein üblich ist, nach Heusinger v. Waldegg benannt. Inzwischen habe ich aber von Herrn M. Urban, Ober-Ingenieur der Eisenbahn Grand Central Belge in Brüssel, die Abschrift eines

Aus der Figur ist ersichtlich, dass diese Steuerung den einen der unmittelbar bewegten Punkte der Koppel von der Hauptkurbel A aus mitnimmt. Dazu ist am Kreuzkopfe B auf der vom Schieber-
spiegel abgewendeten Seite ein Arm BC fest befestigt, mit einem Zapfen bei C , der daher die Bewegung des Kreuzkopfes genau mitmacht. Von C geht eine Zugstange CD aus, deren Endpunkt D die Koppel in ihrem tiefsten Punkte fasst. Dieses Getriebe gestattet keinerlei Änderung, so dass der Punkt D der Koppel für alle Einstellungen der Steuerung wesentlich unveränderlich geführt wird.

Zur Bewegung des zweiten Punktes der Koppel dient ein Exzenter E , das gewöhnlich unter 90° gegenüber der Kurbel aufgekeilt wird. Die Exzenterstange EF greift in F an einem passend gekrümmten Gleitrahmen an, der um den festen Punkt G schwingen kann. Dabei nimmt er einen Stein H mit und überträgt die Bewegung durch die Schubstange HJ auf den zweiten geführten Punkt J der Koppel. Eine Änderung der Dampfverteilung wird durch eine Änderung der Einstellung des Steines H im Gleitrahmen hervorgebracht. Dazu ist die Schieberschubstange, wie bei Gooch, im Punkte L durch die Hängestange LN von dem auf der Steuerwelle P aufgekeilten Aufwerfhebel PN unterstützt. Oft liegt aber auch der Punkt L ausserhalb von H . Die Einstellung der Steuerwelle selbst wird in der sonst üblichen Weise am Hebel PQ eingeleitet. An der Steuerwelle ist noch ein Gegengewicht gegen die Gewichte der Schubstange und der Hängestange nötig.

Der dritte Punkt der Koppel, R , ist unmittelbar mit der geradlinig geführten Schieberstange RS gelenkig verbunden. Er bewegt sich daher genau gleich wie der Schieber.

Durch diese Anordnung der Steuerung ergibt es sich ganz von selbst, dass die Schieberstange nicht mit der Cylinderachse zusammenfällt, sondern parallel zu dieser und höher zu liegen kommt. Dann wird aber auch der Schieber Spiegel parallel zur Cylinderachse, und

Briefwechsels zwischen ihm und Herrn Heusinger v. Waldegg erhalten, aus dem Folgendes hervorgeht: Walschaert hat am 30. November 1844 ein belgisches Patent auf seine Steuerung erhalten, Heusinger v. Waldegg seine Steuerung erst 1849 erfunden, ohne die andere Erfindung zu kennen. Ausgeführt wurde Heusingers Steuerung 1850/51 an einer kleinen Lokomotive, später wie es scheint nicht mehr. Die erste Ausführung von Walschaerts Steuerung ist nicht angegeben, ihre umfangreichere Anwendung beginnt erst 1860. Beide Steuerungen stimmen nicht vollständig überein. Die heutigen zahlreichen Anwendungen entsprechen dem Patente von Walschaert, daher halte ich es für richtiger, die Steuerung nach ihm zu benennen.

daher kann man bei Lokomotiven den Schieber oben auf den Cylinder legen und bei Zwillingsmaschinen die beiden Cylinder kongruent ausführen, während die Cylinder mehrcylindriger Schiffsmaschinen bei einer solchen Lage des Schiebers näher zusammenzurücken gehen. Dieser Eigenschaft ist es mit zuzuschreiben, dass die Steuerung von Walschaert bei Lokomotiven häufig angetroffen wird, namentlich in ihrer Heimat Belgien, aber auch in der Schweiz und anderweitig. Bei Schiffsmaschinen findet sie sich dagegen nur ausnahmsweise vor, und bei feststehenden Maschinen scheint sie noch gar nicht angewendet worden zu sein. Sonst hat sie in Bezug auf ihre äussere Anordnung noch den Vorteil, dass sie nur ein einziges Exzenter nötig hat, das bei Lokomotiven auch als Gegenkurbel angeordnet werden kann. Dagegen braucht sie an festen Punkten am Maschinengestelle: die Steuerwelle, die Drehachse des Gleitrahmens und eine Prismenführung für die Schieberstange in der Nähe der Koppel, also mehr als die Umsteuerungen mit veränderlicher Koppel.

§ 39. Krümmung des Gleitrahmens.

Die Krümmung des Gleitrahmens bestimmt sich, wie bei den Steuerungen mit veränderlicher Koppel, aus der Bedingung, dass sich die Mittellage des Schiebers durch eine Änderung der Einstellung nicht verschieben darf. Schliessen, wie gewöhnlich, die Kurbel und das Exzenter einen Winkel von 90° ein, so wird diese Bedingung auf folgende Weise erfüllt:

Zunächst sorgt man dafür, dass der Angriffspunkt F der Exzenterstange am Gleitrahmen für die beiden toten Punkte der Kurbel genau an die gleiche Stelle F_0 gelangt. Und da der Halbmesser des Exzenters dabei senkrecht steht, für den einen toten Punkt nach abwärts, für den anderen nach aufwärts, so muss F_0 auf der Horizontalen durch O angenommen werden. Dadurch fallen auch die beiden Lagen des ganzen Gleitrahmens für die beiden toten Punkte der Kurbel in eine zusammen, und diese ist dann gleichzeitig seine Mittellage.

Ausserdem werden die Verhältnisse so gewählt, dass die Koppel für die beiden toten Punkte der Kurbel gleich grosse, aber entgegengesetzt gerichtete Neigungen gegenüber der Vertikalen D_0R_0 annimmt und dass dabei ihr von der Schubstange HJ geführter Punkt J in J_0 auf diese Vertikale fällt. J_0 ist daher auch die Mittellage von J .

Jetzt hat man nur nötig, den Gleitrahmen in seiner Mittellage nach einem Kreisbogen zu krümmen, dessen Mittelpunkt sich in der Mittellage J_0 des Punktes J der Koppel befindet und dessen Halb-

messer die gleiche Länge JH besitzt, wie die Schubstange. Die Mittellinie des kreisförmigen Schlitzes lässt man am besten durch die Drehachse G des Gleitrahmens gehen.

Da aber die hierbei benutzten Lagen nicht nur die Mittellagen, sondern gleichzeitig auch die Totpunktlagen der benutzten Stücke sind, so werden sich die Lagen des Schiebers für die beiden toten Punkte der Kurbel durch eine Änderung der Einstellung der Steuerung ebenfalls nicht ändern. Die Umsteuerung von Walschaert in der zunächst untersuchten Anordnung hat also unveränderliches Voröffnen.

§ 40. Herleitung des Diagrammes.

Um das Diagramm dieser Steuerung zeichnen zu können, muss man zuerst die Bewegung der beiden unmittelbar geführten Punkte der Koppel getrennt untersuchen.

Der unterste dieser Punkte, D , erhält seine Bewegung von der Triebkurbel aus durch den Kreuzkopf. Wäre die übertragende Kurbelstange sehr lang, so würden sich die Auslenkungen des Kreuzkopfes aus seiner Mittellage auch durch die Abstände der Punkte eines Kreises von seinem vertikalen Durchmesser darstellen lassen, wie früher bei den Exzenterbewegungen. Die Kurbelstange ist nun zwar stets verhältnismässig viel kürzer als eine Exzenterstange, so dass diese Annäherung ziemlich bedeutende Ungenauigkeiten ergibt. Trotzdem muss man sie zulassen, wenn man ein einfaches mit Zirkel und Lineal allein zeichnbares Diagramm erhalten will. Der Kreis, den man dabei zu benutzen hat, ist der Kurbelwarzenkreis selbst, und da sich der Kreuzkopf für den linken toten Punkt der Kurbel in seiner äussersten Stellung links befindet, so muss die Bewegung auf diesem Diagrammkreise im linken Endpunkte seines horizontalen Durchmessers beginnen. Anfangspunkt der Kolbenweglinie im Maßstabe des Gerippes der Steuerung in Fig. 41, Taf. VI, ist daher der Punkt A' .

Vom Kreuzkopfe aus wird dann der tiefste Punkt D der Koppel durch Vermittelung der Stange CD bewegt. Dabei bleibt C ununterbrochen in gleicher Höhe, während D mit der Änderung der Neigung der Koppel seine Höhenlage ändert. Die daher rührende Veränderlichkeit der Neigung der Stange CD hat zur Folge, dass die Horizontalauslenkungen von D etwas verschieden von denen von C ausfallen. Diese Abweichungen muss man aber ebenfalls vernachlässigen, und daher bleibt der Kurbelwarzenkreis mit A' als Ausgangspunkt auch Diagrammkreis für die Auslenkungen des tiefsten Punktes D der Koppel.

Man könnte allerdings die Anordnung so treffen, dass sich die ungenügenden Längen der Kurbelstange und der Stange CD bis zum Punkte D wenigstens angenähert ausgleichen. Dazu müsste man CD in der Mitte des Kolbenhubes horizontal machen, bei den äussersten Kolbenstellungen dagegen von C nach D ansteigen lassen. Diese Neigung ginge so zu bemessen, dass für die beiden toten Punkte der Kurbel der Punkt D der Welle gegenüber seiner Mittellage um ebensoviel genähert wird, wie sich der Kreuzkopf durch die veränderliche Neigung der Kurbelstange davon entfernt. Die Stange CD würde dabei aber ungünstig kurz ausfallen. Ausserdem wird die folgende Untersuchung zeigen, dass eine solche Ausgleichung kaum nötig ist. Man wird vielmehr umgekehrt suchen müssen, die Stange CD möglichst lang zu machen.

Der zweite unmittelbar geführte Punkt J der Koppel erhält seine Bewegung durch Vermittelung des Gleitrahmens vom Exzenter aus. Von diesem wird zunächst der Punkt F des Gleitrahmens in einem Kreise um G geführt. Man muss nun auch die Exzenterstange verhältnismässig lang voraussetzen, dann sind die Horizontal-Auslenkungen des Punktes F gleich denselben Auslenkungen des Exzentermittelpunktes und zwar unabhängig davon, wie der Kreisbogen, in dem sich F bewegt, gegenüber der Horizontalen durch O liegt. Die Bewegung des Punktes F kann daher im Maßstabe des Gerippes aus dem Kreise durch die E , mit E' als Ausgangspunkt, entnommen werden.

Diese Bewegung wird durch den Gleitrahmen in etwas geänderter Form zunächst auf den Stein H übertragen. Wie bei den früher untersuchten gekrümmten Gleitrahmen muss nun auch hier die Krümmung des Schlitzes so schwach vorausgesetzt werden, dass die Horizontalausschläge des gerade den Stein führenden Punktes genügend genau gleich den Ausschlägen des im gleichen Abstände vom Drehpunkte G befindlichen Punktes der Tangente angenommen werden dürfen. Dann werden die Ausschläge von F durch den Gleitrahmen im Verhältnisse der Abstände $GF:GH \equiv c:c'$ verkleinert und bei der gezeichneten Stellung des Steines auch ihrem Sinne nach geändert. Die Ausschläge des Steines erfolgen daher angenähert so, als wenn er unmittelbar von einem Exzenter bewegt werden würde, dessen Halbmesser $OT = (c'/c) OE$ ist, und das dem wirklichen Exzenter genau gegenübersteht. Der Ausgangspunkt auf dem zugehörigen Diagrammkreise liegt im oberen Endpunkte seines vertikalen Durchmessers. In der Figur ist übrigens der Stein in seiner höchsten möglichen Stellung gedacht.

Wird nun die Einstellung des Steines im Gleitrahmen geändert, so ändert sich auch der Abstand c' und damit der Halbmesser des

Diagrammexzentrums. Fällt H mit G zusammen, so verschwindet c' , und der Mittelpunkt des Diagrammexzentrums rückt in den Mittelpunkt O der Welle. Einstellungen des Steines zwischen G und F entsprechen wieder endlichen Werten von c' , aber mit entgegengesetztem Vorzeichen. Dann wird H im gleichen Sinne ausgelenkt wie F , und daher muss der Mittelpunkt des Diagrammexzentrums zwischen O und E' liegen. Einer Änderung der Einstellung des Steines entspricht hiernach eine Verschiebung des Mittelpunktes seines Diagrammexzentrums auf einer begrenzten Strecke des vertikalen Kreisdurchmessers innerhalb E'' und E' zu beiden Seiten von O .

Vom Steine H aus erhält endlich der Punkt J der Koppel seine Bewegung durch Vermittelung der Schubstange HJ . Diese Stange ist nun stets ziemlich lang, so dass die geringe Änderung ihrer Neigung bei einmal eingestellter Steuerung keinen erheblichen Einfluss erlangt. Ausserdem muss aber ihre Unterstützung von der Steuerwelle aus so günstig vorausgesetzt werden, dass der Stein nicht stark springen kann. Dann gehen die Horizontalauslenkungen ihrer beiden Endpunkte angenähert unter sich gleich anzusehen, und daher ergeben sich die gesuchten Horizontalauslenkungen des Punktes J der Koppel aus demselben Kreise durch T , wie die des im Mittel führenden Punktes H des Gleitrahmens.

Die Auslenkungen der beiden unmittelbar geführten Punkte der Koppel sind hiernach genügend genau durch zwei Kreise darstellbar. Der eine ist der Warzenkreis der Triebkurbel und gilt ungeändert für alle Einstellungen der Steuerung. Anfangspunkt der Kolbenweglinie für den linken toten Punkt der Kurbel ist der linke Endpunkt A' seines horizontalen Durchmessers. Der andere Kreis ist mit der Einstellung der Steuerung veränderlich, der Anfangspunkt der Kolbenweglinie liegt in einem Endpunkte seines vertikalen Durchmessers. Die beiden so dargestellten Bewegungen der Punkte D und J der Koppel sollen nun vereinigt werden zur Bewegung des dritten Punktes R . Man hat also wesentlich denselben Fall wie bei den Koppeln der schon untersuchten Steuerungen, nur mit anders liegenden Anfangspunkten der Kolbenweglinien und anderem Verhältnisse zwischen den Halbmessern der beiden Kreise.

Jetzt geht das Diagramm für den dritten, den Schieber führenden Punkt R der Koppel leicht zu zeichnen. Man zieht im Maßstabe des Gerippes die Verbindungslinie $A'T$ und teilt sie durch den Punkt K so, dass sich verhält

$$KA' : KT = RD : RJ, \quad (73)$$

dann ist K das Diagrammexzenter für die Bewegung des Schiebers

bei der in der Figur angenommenen Einstellung der Steuerung. In Abweichung von früher ist die Teilung durch K hier aber eine äussere.

Bei einer Änderung der Einstellung der Steuerung verschiebt sich nur der Punkt T auf der Vertikalen durch O , während der Punkt A' ungeändert an seiner Stelle bleibt. Daher ändert die Gerade $A'TK$ ihre Neigung. Wegen der Unveränderlichkeit des gegenseitigen Abstandes der drei Punkte auf der Koppel bleibt dabei aber das Verhältnis der Abstände zwischen den drei Punkten A' , T und K ungeändert. Und daraus folgt, dass sich K in einer Parallelen zu $E''OE'$ verschieben muss, also in einer Vertikalen. Der Mittelpunktsort einer Steuerung von Walschaert ist daher eine vertikale Gerade, was übrigens auch aus der schon nachgewiesenen Unveränderlichkeit des Voröffnens hätte geschlossen werden können.

Will man das Diagramm in natürlicher Grösse zeichnen, so wird es nicht immer möglich sein, die Kurbel ganz mit aufs Blatt zu bringen. Dann muss man zuerst im Gerippe der Steuerung die Richtung von $A'T$ bestimmen und hierauf diese parallel sich selbst als $U+4$ in das Diagramm übertragen.

Da die Steuerung von Walschaert als Mittelpunktsort eine vertikale Gerade besitzt, so gilt für die durch sie hervorgebrachte Dampfverteilung alles, was schon bei der Steuerung von Gooch gefunden wurde, und es kann daher hier auf das dortige verwiesen werden. Dagegen ist es nötig, den Einfluss der Kurbelstange auf die Dampfverteilung noch genauer zu prüfen.

Infolge der verhältnismässigen Kürze dieser Stange stehen der Kreuzkopf mit dem Zapfen C und der Kolben gegenüber ihren äussersten Stellungen stets mehr oder weniger nach der Seite der Welle zu verschoben. Würde sich nun der Schieber genau so bewegen, wie es dem angenäherten Diagramme entspricht, so würde die Füllung auf der Kurbelseite des Cylinders kleiner ausfallen als auf der Bodenseite. Wirklich ist aber die Schieberstellung auch mit von der Stellung des Kreuzkopfes abhängig und zwar so, dass der Schieber gegenüber der dem Diagramme entsprechenden Stellung nach der entgegengesetzten Seite verschoben wird, wie der Kreuzkopf gegenüber seiner Stellung bei einer unendlich langen Kurbelstange. Der Schieber steht also meist etwas zu weit von der Drehachse entfernt. Dadurch wird aber die Füllung des Cylinders auf der Kurbelseite vergrössert, auf der Bodenseite verkleinert. Bei einem Kolbenschieber mit innerer Einströmung müsste der den Schieber führende Punkt R der Koppel zwischen D und J liegen. Dann würde der Schieber im gleichen Sinne verschoben wie der Kreuzkopf, was aber auf die Füllung doch den vorigen Ein-

fluss ausüben würde. Die Kurbelstange gleicht also den ungünstigen Einfluss ihrer Kürze auf die Güte der Dampfverteilung von selbst einigermaßen aus, so dass es unnötig scheint, noch durch die Anordnung der Stange CD für eine derartige Ausgleichung zu sorgen. In dieser Richtung ist die Steuerung von Walschaert den Umsteuerungen überlegen, welche die Bewegung des Kreuzkopfes nicht mit zur Führung des Schiebers heranziehen.

Bei Lokomotiven üben die Schwingungen der Tragfedern einen ähnlichen Einfluss aus wie bei den Steuerungen mit veränderlicher Koppel. Man hat es hier eben auch mit zwei Schubkurbelbewegungen zu thun, deren Mittelpunkt O sich senkrecht zu den Schubrichtungen etwas hin und her verschiebt.

§ 41. Entwerfen einer neuen Steuerung.

Für das Entwerfen einer Steuerung von Walschaert sind von anderweitigen Bestimmungen her als bekannt anzusehen: der Cylinder, sein Abstand von der Welle, die Länge des Kurbelarmes und der Abstand der Schieberstange von der Achse des Cylinders. Dieser letzte Abstand sinkt bei grossen Schiffsmaschinen bis gegen $0,75$ des Cylinderdurchmessers und steigt mit abnehmender Grösse des Cylinders bei Flachschiebern bis über 1 , bei Kolbenschiebern bis über $1,4$, wobei der Schieberspiegel ausdrücklich zur Cylinderachse parallel vorausgesetzt ist. Bringt man den Zapfen R , Fig. 41, Taf. VI, nicht in der Achse der Schieberstange an, sondern unter ihr, und dann gewöhnlich auf der Seite des Cylinders, so liegt auch die Gerade s , in der sich der den Schieber führende Punkt der Koppel bewegt, unterhalb der Achse des Stopfzeuges am Schieberkasten.

Nun muss zuerst die stärkste Füllung gewählt werden, wie bei der Steuerung von Gooch. Mit ihr lässt sich dann das zugehörige Diagrammexzenter in bekannter Weise bestimmen, $+4$ in Fig. 41, und damit ist sofort der ganze Mittelpunktsort als vertikale Gerade gegeben.

Wird die Reihenfolge der Stücke: Kurbelwelle, Gleitrahmen, Koppel und Cylinder so gewählt wie in der Figur, so muss die Koppel möglichst nahe an den Cylinder herangerückt werden, damit die Stangen hinreichende Länge erhalten können. Dann lässt sich die Vertikale d'' annehmen, in welche die äusserste Stellung rechts des tiefsten Punktes D der Koppel fallen muss. Da sich dieser Punkt in horizontaler Richtung genau gleich weit bewegt wie der Kreuzkopf, so wird die um die Länge des Kurbelarmes weiter links liegende Vertikale d Symmetrieachse

seiner Bewegung, und seine äusserste Stellung links muss sich in der um den gleichen Betrag noch weiter links liegenden Vertikalen d' befinden.

In § 39 ist angegeben worden, dass zur Sicherung der Unveränderlichkeit der Mittellage des Schiebers und auch des Voröffnens der Punkt J der Koppel für die beiden toten Punkte der Kurbel an die gleiche Stelle J_0 gebracht werden muss. Der obere Endpunkt R der Koppel befindet sich gleichzeitig jedenfalls auf der Horizontalen s , in einem der zunächst noch unbekanntem Punkte R' oder R'' . Daher müssen die drei Punkte R' , R'' und J_0 ein gleichschenkeliges Dreieck mit der Spitze J_0 bilden und die zugehörigen Lagen der Koppel mit der Vertikalen gleiche Winkel einschliessen. Zugleich soll aber der tiefste Punkt D der Koppel auch in eine der Vertikalen d' oder d'' fallen. Alle diese Bedingungen gehen nur dann gleichzeitig zu erfüllen, wenn J_0 auf der mittleren Vertikalen d angenommen wird, so dass diese auch Symmetrieachse für die beiden Punkte R' und R'' sein muss.

Da der Punkt R die Bewegung des Schiebers genau mitmacht, so müssen seine beiden Totpunktlagen R' und R'' um das lineare Voreilen $e + v$ von seiner Mittellage R_0 auf d abstehen. Diese Länge ist aus dem Diagramme bekannt, im Maßstabe des Gerippes gleich OM . Trägt man sie auf s von R_0 aus nach rechts und links auf, so erhält man die beiden Punkte R' und R'' .

Weiterhin nimmt man entweder die grösste Neigung der Koppel an, die gegenüber der Vertikalen nicht mehr als höchstens 30° betragen sollte, oder man wählt die Höhenlage der Punkte D' und D'' und zwar so weit unter der Cylinderachse, als es der Platz gestattet, damit die Neigung der Koppel möglichst klein bleibt, oder endlich kann man auch J_0 in solchem Abstände von R' oder R'' annehmen, dass die nötigen Zapfen nebeneinander Platz haben. Zeichnet man hiernach die Koppel ein, so kann man die jedesmal noch fehlenden Stücke bestimmen und daher die Lagen von D' , D'' und J_0 jetzt als bekannt ansehen.

Hierauf muss der feste Drehpunkt G des Gleitrahmens gewählt werden. Was seine Lage zunächst in horizontaler Richtung betrifft, so bestimmt sie sich aus der Bedingung, dass sowohl die Exzenterstange EF als auch die Schubstange HJ möglichst lang sein sollten. G wird daher am besten in der Mitte zwischen O und d angenommen werden müssen, wenn nicht Platzverhältnisse zu einer anderen Lage zwingen. Ist der Abstand zwischen O und d im ganzen ziemlich klein, so ist es besser, G näher an die Welle zu legen. Der schädliche Einfluss einer zu geringen Länge der Schubstange lässt sich nämlich

nicht beseitigen, während eine unverhältnismässige Kürze der Exzenterstange auszugleichen geht, wie nachher noch gezeigt werden wird. In vertikaler Richtung wird der Drehpunkt G des Gleitrahmens zweckmässig in die gleiche Höhe mit dem Punkte J_0 gelegt, weil dadurch die Auslenkungen der Schubstange symmetrisch gegenüber der Schubrichtung ausfallen.

Die Mittellinie des Schlitzes geht gewöhnlich durch den Drehpunkt G des Gleitrahmens. Liesse man sie auf der der Koppel abgewendeten Seite daran vorbeigehen, so könnte man ihren am meisten benutzten Punkt allerdings in die Vertikale durch G bringen und dadurch die gebräuchliche Dampfverteilung etwas regelmässiger machen. Dagegen würde dann der Stein in der Umgebung des toten Punktes der Steuerung ein stärkeres Springen zeigen. Den Schlitz auf der Seite der Koppel neben G vorbeigehen zu lassen, wäre in beiden Richtungen ungünstig.

Damit der Stein auch sonst nicht zu stark springt, darf der Gleitrahmen keine zu grossen Winkelausschläge machen, auf jeder Seite der Mittellage nicht mehr als 20° bis $22\frac{1}{2}^\circ$. Zieht man durch G die beiden Geraden aa unter diesem angenommenen Grenzwinkel, so geben sie die beiden Grenzlagen der Tangente an den Schlitz des Gleitrahmens. Um die Länge des Schlitzes bestimmen zu können, braucht man noch die grösste Horizontalauslenkung des Steines. Nun ist im Maßstabe des Gerippes der Steuerung K das Diagrammexzenter für die stärkste Füllung. Die Verbindungslinie KA' schneidet auf dem vertikalen Durchmesser die Strecke OT' ab, welche der zugehörigen grössten Auslenkung des Steines gleich ist. Zieht man daher im Abstände OT' von G auf beiden Seiten die Vertikalen b , so geben ihre Schnittpunkte mit den a die äussersten benutzten Punkte der Tangente des Schlitzes. Die äussersten Stellungen des Steines nimmt man am einfachsten auf dem Kreise um G durch diese Schnittpunkte an. Dadurch sind auch die äussersten Lagen der Schubstange gegeben, und es kann noch ihre Unterstützung von der Steuerwelle aus genau so bestimmt werden, wie es in § 18 für die Schieberschubstange von Gooch gezeigt wurde.

Bei der ganzen bisherigen Entwicklung war es nicht nötig, zu wissen, ob der Stein im Gleitrahmen für einen bestimmten Drehungssinn gehoben oder gesenkt werden soll. Der Sinn dieser Auslenkung hängt auch namentlich nur von dem für die Lagerung der Steuerwelle verfügbaren Platze ab. Ist die Unterstützung der Schubstange festgestellt, so sollte der Stein für den bevorzugten Drehungssinn auf die von der Steuerwelle abgewendete Seite ausgelenkt werden, damit

der Stein und der führende Punkt des Gleitrahmens Bahnen von gleichsinniger Krümmung beschreiben, und so der Stein weniger springt.

Ist diese Frage erledigt, so geht das Exzenter zu bestimmen. Liegt, wie in Fig. 41, der Angriffspunkt F der Exzenterstange am Gleitrahmen auf der Tangente der Mittellinie des Schlitzes im Punkte G , so muss er in seinen äussersten Stellungen in die Geraden a gelangen. Zieht man daher mit GF_0 als Halbmesser, wo F_0 auf OB liegt, einen Kreisbogen um G , so ist seine halbe Sehne zwischen den beiden geneigten Geraden a gleich der Länge des Halbmessers des Exzenters. Wie dieses dann gegenüber der Kurbel aufgekeilt werden muss, ergibt sich durch folgende Überlegung: Vom linken toten Punkte A' der Kurbel beginnend, bewegt sich der Punkt D der Koppel von seiner äussersten Stellung links an mit der Anfangsgeschwindigkeit Null, während der Schieber aus seiner Mittellage schon nach rechts ausgelenkt ist und noch weiter nach rechts rücken muss. Das geht dann nur durch eine Bewegung des Punktes J_0 der Koppel nach rechts hin zu erreichen, und dazu muss der Stein H ebenfalls nach rechts gehen. Damit ist auch der gleichzeitig nötige Sinn der Bewegung von F gegeben, und so wie F muss auch der Mittelpunkt des Exzenters ausgelenkt werden. Daraus folgt, dass für Drehung im Sinne des Uhrzeigers, oder allgemeiner, wenn sich die Kurbel von ihrem äusseren toten Punkte aus nach der Seite des Gleitrahmens zu bewegt, der Stein und der Mittelpunkt des Exzenters für diesen äusseren toten Punkt der Kurbel beide ausserhalb, oder beide innerhalb der Horizontalen durch O und G liegen müssen.

Ist man genötigt, mit dem Gleitrahmen näher an die Drehachse heranzurücken, so wird die Exzenterstange unverhältnismässig kurz, und das hat ungleiche Ausschläge des Gleitrahmens aus seiner Mittellage zur Folge. Diese Ungleichheit lässt sich aber beseitigen, wenn man die Exzenterstange noch mehr verkürzt und dafür ihren Angriffspunkt F am Gleitrahmen nach der Seite der Welle zu verschiebt, doch immerhin so, dass er für die toten Punkte der Kurbel in der Horizontalen durch O bleibt. Gleichzeitig ist auch eine Änderung des Halbmessers des Exzenters erforderlich. Die Aufgabe geht aber nicht mit Zirkel und Lineal allein zu lösen, vielmehr müssen die günstigsten Verhältnisse ausprobiert werden.

Folgende Andeutungen sollen zur Erleichterung des Aufsuchens dienen. In Fig. 42, Taf. VI, ist der wie vorhin bestimmte Gleitrahmen mit seinen Grenzlagen noch einmal hingezeichnet. Die Hauptpunkte, Mittellage F_0 und Grenzlagen V_0 und W_0 des dortigen Angriffspunktes

der Exzenterstange sind mit dem Zeiger o versehen. Verschiebt man nun die Mittellage des Angriffspunktes F_0 auf OF_0 , also auf einer Tangente des Bogens $V_0F_0W_0$, und verlangt man, dass der Ausschlagswinkel ungeändert bleibt, so rücken die Endpunkte V und W des Kreisbogens um G , in dem sich F jetzt bewegt, in Geraden v und w fort, die auch Tangenten an den Bogen $V_0F_0W_0$ in V_0 und W_0 sind, wie ohne weiteres aus der Kongruenz der Dreiecke F_0GF , V_0GV und W_0GW folgt. Nimmt man nun einen beliebigen Punkt F an und bestimmt seine Grenzlagen V und W auf v und w durch Einschneiden mit dem Bogen VFW , oder unter Berücksichtigung der Gleichheit von F_0F , V_0V und W_0W , so wäre mit den üblichen Bezeichnungen r und l

$$OV = l - r \text{ die kleinste,}$$

$$OW = l + r \text{ die grösste}$$

Entfernung des Endpunktes der Exzenterstange von O . Hieraus wären l und r in bekannter Weise bestimmbar. Macht man auf OW $OX = OV$ und halbiert XW in Y , so ist

$$OY = l, \quad YW = YX = r.$$

Mit diesen Grössen würde der Gleitrahmen den richtigen Gesamtausschlag erhalten, dagegen im allgemeinen für die beiden toten Punkte der Kurbel nicht in seiner Mittellage stehen, da die Entfernung des Punktes F von den Endpunkten des vertikalen Durchmessers des Exzenterkreises nicht gerade gleich l werden wird. Man muss nun F so lange verschieben, bis auch diese Bedingung erfüllt ist. Allerdings fallen so die grössten Ausschläge des Gleitrahmens nicht auf gegenüberliegende Exzenter- oder Kurbelstellungen, was aber auch bei der zuerst vorausgesetzten Anordnung des Gleitrahmens nicht genau geschieht. Will man in dieser Richtung noch einigermassen ausgleichen, so muss die Lage von F an einem Modell endgültig bestimmt werden.

Bei Lokomotiven könnte für den bevorzugten Drehungssinn bei kleineren Füllungen ein grösseres Voröffnen verlangt werden, als beim äussersten Grade. Um eine solche Dampfverteilung zu erhalten, muss man beachten, dass, wie aus der Herleitung des Diagrammes in § 40 folgt, der Mittelpunkt sort stets eine Gerade wird, die parallel gerichtet ist zum Halbmesser des Exzenters in seinen Lagen für die toten Punkte der Kurbel. Daher muss auch umgekehrt das Exzenter mit dem vorgeschriebenen geeigneten Mittelpunkt sort parallel angenommen werden.

Beim Entwerfen einer solchen Steuerung kann man verschiedene Wege einschlagen. Dem vorigen schliesst sich folgender am besten an: Zunächst bestimmt man den Mittelpunkt sort $+4 - 4$, s. Fig. 43,

Taf. VI, aus den gegebenen Bedingungen, wesentlich wie bei der Steuerung von Gooch, nur legt man hier am zweckmässigsten seinen Mittelpunkt M auf die Horizontale durch O , so dass dieser Punkt dem toten Punkte der Steuerung entspricht. Da das Voröffnen veränderlich ist, so steht die Koppel für die toten Punkte der Kurbel nicht mehr bei allen Füllungsgraden gleich. Der weiteren Entwicklung werden am einfachsten ihre Stellungen für den toten Punkt der Steuerung zu Grunde gelegt. Man nimmt also, s. Fig. 41, Taf. VI, die Punkte D' , D'' , R' , R'' genau so an, wie vorhin, der einzige Unterschied ist der, dass R' und R'' hier nur für den toten Punkt der Steuerung gelten. Die Abstände der D und R von der Vertikalen d sind daher gleich OA' und OM . Zieht man nun $D'R'$ und $D''R''$, so schneiden sich diese beiden Geraden auf d in J_0 , und es verhält sich:

$$J_0D' : J_0R' = D_0D' : RR' = OA' : OM.$$

Das letzte Verhältnis ist aber das gleiche, in welchem das Diagramm-Exzenter für den oberen geführten Punkt der Koppel die Strecken von A' bis zum Mittelpunktsorte teilt. Und daher muss die Schubstange die Koppel in J_0 fassen. Der Punkt J_0 der Figur selbst ist Mittellage für diesen Angriffspunkt. Weiterhin wählt man den Drehpunkt G des Gleitrahmens auch horizontal neben J_0 und bestimmt seine Länge und seinen Ausschlagswinkel, sowie die Länge des Halbmessers des Exzenter ganz wie vorhin. Der Winkel zwischen diesem Halbmesser und der Kurbel ist dann gleich $A'M - 4$ oder $A'M + 4$, je nachdem der Stein für Drehung im Sinne des Uhrzeigers gehoben oder gesenkt wird. Der Angriffspunkt F der Exzenterstange am Gleitrahmen muss hier so gewählt werden, dass er für die Mittellage des Gleitrahmens, also für vertikale Stellung der Exzenterhalbmesser, in die Horizontale durch O fällt. In dieser Lage des Gleitrahmens muss endlich sein Schlitz nach einem Kreisbogen gekrümmt werden, dessen Mittelpunkt sich in der Mittellage J_0 von J befindet.

§ 42. Abarten der Umsteuerung von Walschaert. *alias Kussinger*

Unter den Abarten der Steuerung von Walschaert sind zunächst einige zu erwähnen, die sich nur durch eine andere gegenseitige Lage der einzelnen Stücke von der in Fig. 41 dargestellten Anordnung unterscheiden. So haben in Fig. 44, Taf. VI, Gleitrahmen und Koppel ihre Plätze gewechselt. Dadurch werden die Exzenterstange EF und die Schubstange HJ länger; aber auch die Zugstange CD geht genügend lang zu machen, wenn die Koppel nahe an die Achse gerückt und

vielleicht auch noch der Punkt C am Kreuzkopfe näher an den Cylinder gelegt wird. Noch länger wird die Schubstange HJ bei der in Fig. 45, Taf. VI, dargestellten Reihenfolge, während die anderen Stangen dabei ungefähr ihre frühere Länge beibehalten. HJ erhält eine etwas geringere Länge, wenn man die Koppel zwischen Achse und Kreuzkopf annimmt. So lange Stangen ergeben eine sehr gleichmässige Schieberbewegung, sie müssen aber, namentlich bei Lokomotiven, genügend kräftig ausgeführt werden, damit sie nicht in peitschende Bewegung geraten können.

Schiffsmaschinen haben gewöhnlich einen gegenüber dem Kolbenhube grossen Cylinderdurchmesser. Um in diesem Falle keinen zu langen Gleitrahmen und keine zu grosse Auslenkung des Steines zu erhalten, neigt man die Schubrichtung des Endpunktes F der Exzenterstange gegenüber der Achsrichtung des Cylinders, und zwar nach der Seite des Schiebers. Gleichzeitig muss man den Halbmesser des Exzenters und den Arm am Gleitrahmen, an dem die Exzenterstange angreift, für die toten Punkte der Kurbel senkrecht zu dieser Schubrichtung stellen.

Bei kleinen Lokomotiven mit zwei gekuppelten Achsen bewegt **Bagnall*** den Gleitrahmen in der gewöhnlichen Art durch ein Exzenter auf der Haupttriebachse. Die Bewegung des untersten Punktes der Koppel leitet er aber von einem mit der Kurbel gleich gerichteten Exzenter auf der Kuppelachse ab. Da dieses einen kleineren Halbmesser erhält, als die Kurbel, so werden die beiden Abschnitte der Koppel weniger ungleich. Trotzdem rücken in der Ausführung die beiden Punkte J und R so nahe zusammen, dass der eine der beiden Zapfen den anderen exzenterartig umschliesst.

Man hat auch gesucht, das Exzenter ganz zu vermeiden und die schwingende Bewegung des Gleitrahmens von der Kurbel oder einem Punkte der Kurbelstange abzuleiten. Zu diesem Zwecke muss man am Gleitrahmen einen zu seiner Sehne senkrechten Arm anbringen, der von der Kurbelstange aus durch eine Verbindungsstange bewegt wird. Diese Stange würde aber unverhältnismässig kurz ausfallen, was eine sehr ungleichmässige Dampfverteilung zur Folge hätte. Trotzdem schlägt **Younghusband**** eine solche Anordnung vor, nur benutzt er nicht die Kurbelstange selbst, sondern eine zweite von der Kurbel ausgehende Stange, die gleichzeitig den untersten Punkt der Koppel unmittelbar bewegt.

* Engineer 1893, II, 380—381.

** Englisches Patent 1888; Engineering 1888, II, 369.

Um eine gleichmässige Schwingung des Gleitrahmens zu erhalten, ordnet **J. Hawthorn Kitson*** bei Schiffsmaschinen eine Zwischenwelle V , Fig. 46, Taf. V, an, welche durch die am Hebel VW angreifende Stange WX von der Kurbelstange aus in Schwingungen versetzt wird. Von W geht eine zweite Stange WY aus, die in Y den Arm GY und dadurch den Gleitrahmen mitnimmt. Die sonst noch in der Figur hinzugefügten Buchstabenbezeichnungen haben die nämliche Bedeutung, wie in Fig. 41, nur ist der übrige Teil dieser Figur hier weggelassen. Damit der Gleitrahmen möglichst gleichmässig schwingt, sollten die Sehnen der von W und Y beschriebenen Kreisbögen ungefähr in der nämlichen Vertikalen zusammenfallen, weil so die beiden Stangen WX und WY angenähert gleichzeitig am steilsten oder am stärksten geneigt stehen, wodurch sich der Einfluss ihrer geringen Länge gegenseitig teilweise ausgleicht. Wegen der Verschiedenheit der beiden Längen geht aber doch keine vollkommene Ausgleichung zu erreichen. Günstigste Verhältnisse müssen ausprobiert werden.

Schon früher hatte **J. Hofmann**** vorgeschlagen, den Gleitrahmen von einem seitlich an der Kurbelstange angebrachten Punkte aus zu bewegen, aber mit einer abweichenden Übertragung. Ausführungen dieses Vorschlages sind mir jedoch nicht bekannt. Dasselbe gilt von der Steuerung von **Rickie**†, welche die Schwingungen des Gleitrahmens durch einen zweiten, ebenfalls schwingenden Gleitrahmen vermittelt, in dessen Schlitz sich ein Punkt der Kurbelstange hin und her verschiebt.

Bei Maschinen mit zwei unter 90° versetzten Kurbeln gehen Exzenter dadurch zu vermeiden, dass die Bewegung jedes Gleitrahmens je von der anderen Kurbel abgeleitet wird. Die erste Steuerung dieser Art ist nach **Belpaire** an einer 1873 in Wien ausgestellten Lokomotive von **Carels** ausgeführt worden.†† Die Maschine hatte hoch liegende Cylinder und übertrug die Bewegung vom Kolben auf die Triebachsen durch einen um eine vertikale Mittellage schwingenden zweiarmigen Hebel. Von einem Zwischenpunkte jedes Hebels wurde der tiefste Punkt der gleichseitigen, ziemlich kurzen Koppel

* Englisches Patent 1879. D. R.-P., Kl. 14, Nr. 10200. Zeitschrift des Vereines deutscher Ing. 1881, 40. Dingler 1881, 242, 157. Diese Steuerung findet sich bald als Kitson-, bald als Hawthorn-Steuerung benannt.

** Dingler 1877, 223, 30.

† Dingler 1888, 270, 345.

†† Zeitschrift des Vereines deutscher Ing. 1874, 354 und Taf. XV.

geführt, während ein anderer Zwischenpunkt des Hebels den Gleitrahmen der anderen Seite in Schwingungen versetzte. Für die letzte Übertragung sind zwei besondere Achsen nötig, so dass das ganze Steuerungsgetriebe sehr viele Teile erhält. Daher hat diese Steuerung wenig Nachahmung gefunden, trotzdem mit ihr eine gute Dampfverteilung erreichbar ist. Nur die Schweizerische Lokomotiv- und Maschinenfabrik in Winterthur hat die Lokomotiven der Zahnradbahn Visp-Zermatt mit einer ähnlichen Steuerung ausgerüstet.* Da sie aber unmittelbare Übertragung der Bewegung durch eine Kurbel anwendet, musste sie vom Kreuzkopfe aus mitgenommene Hebel einschalten, von denen die übrigen Bewegungen abgeleitet werden. Um die Höhenausdehnung der Steuerung zu verringern, greifen die Aufwerfhebel ohne Hängestangen in Längenschlitze der Schubstangen. Da die eine Kurbel der anderen voreilt, während die andere der ersten nacheilt, müssen die beiden Steine in den Gleitrahmen gleichzeitig nach entgegengesetzten Seiten ausgelenkt werden. Daher genügt eine einzige Steuerwelle nicht, vielmehr muss auf jeder Seite noch je eine Hilfssteuerwelle eingeschaltet werden.

Wesentlich gleich sind die **Sjövall**** und **Green***** patentierten Steuerungen beschaffen, Ausführungen von ihnen sind mir aber nicht bekannt.

Bei Lokomotiven wird gelegentlich der unterste Punkt der Koppel nicht vom Kreuzkopfe, sondern von einem Kuppelstangenkopfe aus bewegt.† Liegt aber der geführte Punkt der Koppel, wie gewöhnlich, unterhalb der Cylinderachse, so muss dadurch seine Auslenkung, also auch die des Schiebers, ungleichmässiger werden.

Abweichend von den bisher besprochenen Anordnungen leitet **Fidler** †† die Bewegung des untersten Punktes der Koppel und die Schwingung des Gleitrahmens von einem Exzenter ab, das der Kurbel gegenüber steht, s. Fig. 47, Taf. V. Der den Schieber führende Punkt der Koppel muss daher bei Schiebern mit äusserer Einströmung zwischen die beiden anderen Punkte gelegt werden. Dadurch rückt der Gleitrahmen weit hinauf, so dass die Steuerung in dieser Richtung

* Barbey, Les locomotives suisses, Genève, Eggimann & Cie., Seite 85 und Taf. 51.

** D. R.-P. Kl. 14, Nr. 45 560 und Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1889, 155.

*** Englisches Patent 1893. Engineering 1893, I, 760.

† Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens 1898, S. 223.

†† Engineering 1886, II, 315.

viel Platz braucht. Trotzdem wird die Exzenterstange kaum jemals verhältnismässig länger ausfallen, als bei der ursprünglichen Walschaert'schen Anordnung, so dass sich auch keine gleichförmigere Dampfverteilung ergeben kann. Ausgeführt sei diese Steuerung bisher nur bei Lokomotiven.*

Zur Vereinfachung der Herstellung hat **Helmholtz**** einen geradlinigen Gleitrahmen vorgeschlagen und auch mehrfach an Lokomotiven ausgeführt. Die Verhältnisse lassen sich in folgender Weise feststellen, vgl. Fig. 48, Taf. V. Zunächst zeichnet man den Kreisbogen um J_0 als Mittelpunkt, in dem die Mittellage des Steines bei einer Änderung der Einstellung der Steuerung eigentlich bleiben sollte. Dann zieht man die Mittellinie zwischen seiner Sehne und seiner Tangente und bestimmt ihr gegenüber die Lage der Steuerwelle P und den Aufwerfhebel PN wie sonst, aber für unmittelbare Unterstützung des Steines H durch die Hängestange. Fügt man endlich noch die Grenzlagen dieser Stange, N_1H_1 und N_2H_2 , und die Lage N_0H_0 für den toten Punkt der Steuerung hinzu und verlängert diese Geraden bis zum Schnitte B mit der Mittellinie der von N und H beschriebenen Kreisbögen, so erhält man in der Strecke B_1B_2 die ganze Länge des Gleitrahmens und in B_0 seinen Mittel- und Drehpunkt G . Es erscheint zweckmässig, die Steuerwelle P auf der Seite des Cylinders anzuordnen; läge P auf der anderen Seite, so würde der Gleitrahmen zwischen J_0 und P fallen und die Neigung der Hängestange grösser werden. Mit der Anwendung eines solchen geradlinigen Gleitrahmens wird allerdings die genaue Unveränderlichkeit des Voröffnens und der Mittellage des Schiebers aufgegeben. Die Figur 48 musste übrigens, um deutlich zu sein, in ausnahmsweise verzerrten Längenverhältnissen gezeichnet werden.

Die «Winkelhebelsteuerung» von **Gölsdorf**† vermeidet den Gleitrahmen ganz und ersetzt ihn durch einen Winkelhebel, der seine schwingende Bewegung auch von einem Exzenter erhält, während der sonstige Stein durch eine Schwinge in einem Kreisbogen um den Endpunkt des anderen Armes des Winkelhebels geführt wird.

Während bei allen bisher besprochenen Abarten der Steuerung von Walschaert übereinstimmend die beiden unmittelbar geführten Punkte der Koppel vollkommen unveränderlich an dieser angebracht waren, ist das bei der schon oben erwähnten Steuerung von **Heusinger**

* Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1889, 1043.

** Dasselbst 1884, 772.

† Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens 1897, S. 204.

v. Waldegg nicht mehr der Fall. Der obere Punkt *J* der Koppel ist zwar unveränderlich an ihr befestigt, und er wird auch auf gleiche Weise durch ein Exzenter und einen zwischengeschalteten Gleitrahmen geführt. Dagegen wird das untere Ende der Koppel anders in Bewegung gesetzt. Am Kreuzkopfe ist nämlich eine Öse angebracht, die sich um eine zum Kreuzkopfzapfen parallele Achse drehen kann. Durch diese Öse geht die Koppel hindurch und wird so mitgenommen, wobei sie sich aber in ihrer Längenrichtung, wie bei einem Prismenpaare, in der Öse hin und her verschiebt. Dadurch ändert sich das Längenverhältnis der Koppelabschnitte ununterbrochen, und zwar so, dass der untere Abschnitt in den beiden Totpunktlagen am grössten, in der Nähe der Mitte des Kolbenhubes am kleinsten wird. Diese Veränderung ist so beschaffen, dass sie den Einfluss der endlichen Länge der Kurbelstange auf die Bewegung des Schiebers vergrössert. Ob dieser Einfluss die auf die Kolbenstellung bezogene Dampfverteilung verbessert oder verschlechtert, hängt von den besonderen Verhältnissen ab. Es lässt sich also nicht allgemein entscheiden, ob in dieser Richtung **Walschaert** oder **Heusinger v. Waldegg** den Vorzug verdient. Dagegen schaltet **Heusinger** zur Führung des tiefsten Punktes der Koppel gleitende Reibung ein, während bei **Walschaert** dort nur Zapfenreibung auftritt. Daher ist es erklärlich, dass sich die Steuerung von **Heusinger v. Waldegg** gegenüber der von **Walschaert** nicht eingebürgert hat.

2. Kapitel.

Die Umsteuerung von Hackworth.

§ 43. Beschreibung der Steuerung.

Die gewöhnlich nach **Hackworth** benannte Steuerung ist schon zwischen 1840 und 1850 in Frankreich einem Anderen patentiert gewesen, aber ohne weitere Beachtung zu finden. Ausgeführt wurde sie zuerst von **John Wesley Hackworth**, der von 1849 an in England verschiedene Patente auf seine Steuerungsanordnungen genommen hat.* Hier soll zunächst seine älteste Anordnung untersucht

* *Engineering* 1886, I, 61. *Dingler* 1876, 219, 3. Geschichtliche Angaben über diese und andere Steuerungen von **Smith** in *Engineering* 1889, II, 613 u. ff.

werden, deren Gerippe in Fig. 49, Taf. VII, durch die voll ausgezogenen Linien dargestellt ist.

Bei den Steuerungen von Hackworth kommt, wie bei denen von Walschaert, der Schieber auf den Cylinder zu liegen, und man macht daher gewöhnlich auch die Schubrichtung des Schiebers parallel zur Cylinderachse. Diese Anordnung soll zunächst allein untersucht werden. Die Bewegung des Schiebers wird von nur einem einzigen Exzenter, E , abgeleitet, das bei der ursprünglichen Hackworth'schen Ausführung der Kurbel genau gegenübersteht. Von diesem Exzenter geht eine Exzenterstange EB aus, aber, abweichend von allen bisher untersuchten Steuerungen, im Mittel in einer zur Schubrichtung des Schiebers senkrechten Richtung. Der Endpunkt B der Exzenterstange wird durch einen Stein in dem geradlinigen Gleitrahmen CC geführt, der hier unmittelbar auf der festgelagerten Steuerwelle D aufgekeilt ist. Zur Änderung der Dampfverteilung wird die Neigung des Gleitrahmens dadurch geändert, dass die Steuerwelle in einer anderen Winkellage eingestellt wird. Von dem zwischen E und B gelegenen Punkte F der Exzenterstange geht endlich die Schieberschubstange FG im Mittel in horizontaler Richtung, oder allgemeiner parallel zur Schubrichtung des Schiebers aus, fasst in dem Zapfen G die geradlinig geführte Schieberstange GS und bewegt so diese und den Schieber.

Die Längen OE , OD und EB , sowie die sonstige Lage von D gegenüber O werden stets so bemessen, dass der Endpunkt B der Exzenterstange für die beiden toten Punkte der Kurbel genau in den Drehpunkt D des Gleitrahmens fällt. Da sich der Mittelpunkt des Exzenters für diese beiden Kurbelstellungen in E' oder E'' befindet, also in der Horizontalen durch O , so muss die Verbindungslinie OD vertikal stehen und die Länge der Exzenterstange $EB = E'D = E''D$ gemacht werden. Dreht man dann für die toten Punkte der Kurbel die Steuerwelle mit dem Gleitrahmen, so ändert das die Lage des Punktes B nicht, und daher bleibt auch der Schieber je unverändert an seiner Stelle. Die Steuerung von Hackworth besitzt also unveränderliches Voröffnen, wodurch gleichzeitig die Unveränderlichkeit der Mittellage des Schiebers gesichert ist.

Um das Wesen der Wirkungsweise dieses Getriebes anschaulicher machen zu können, und um die Ähnlichkeit dieser Steuerung mit anderen Umsteuerungen leichter erkennen zu lassen, hat Smith in der eben erwähnten Veröffentlichung ergänzende Teile hinzugefügt, wie sie in Fig. 49 mit gestrichelten Linien angegeben sind. Dabei ist die Anordnung so getroffen, dass sich die drei Punkte H , G und J

in genau den gleichen gegenseitigen Abständen befinden, wie E , F und B , und dass $EH = BJ = FG$ ist. Lässt man jetzt die ursprüngliche Schieberschubstange FG weg, so ist HGJ eine Koppel, deren unterster Punkt H unmittelbar und unveränderlich durch die Exzenterstange EH geführt wird, während ihr oberster Punkt J seine Bewegung in veränderlicher Weise über den Stein B durch die Schubstange BJ erhält. Der dritte Punkt G der Koppel führt endlich den Schieber. Dadurch, dass gegenüber dieser Anordnung die drei Stangen EH , BJ und HJ durch die einzige Stange FG ersetzt werden, während die auch sonst nötige Exzenterstange EFB gleichzeitig die Rolle der wegfallenden Koppel übernimmt, erhält die Steuerung von Hackworth ihre so einfache Gestalt.

§ 44. Herleitung des Diagrammes.

Der Herleitung des Diagrammes soll eine allgemeinere Anordnung zu Grunde gelegt werden, bei der das Exzenter OE der Kurbel nicht genau gegenübersteht, sondern, s. Fig. 50, Taf. VII, im linken toten Punkte der Kurbel um den kleinen Winkel β nach rechts oben zu geneigt ist.

Der unterste Punkt E der Koppel fällt mit dem Mittelpunkt des Exzenters zusammen. Seine Auslenkungen in der Richtung der Schieberbewegung sind daher gleich den horizontal gemessenen Abständen des Exzentermittelpunktes vom vertikalen Durchmesser des Exzenterkreises, und zwar vollkommen genau. Den Ausgangspunkt bildet die Lage E des Exzentermittelpunktes für den linken toten Punkt der Kurbel. Diese Bewegung des untersten Punktes der Koppel bleibt für alle Einstellungen der Steuerung ungeändert.

Die Bestimmung der Horizontalauslenkung des zweiten geführten Punktes B der Koppel erfolgt wesentlich nach § 15 und Fig. 21, Taf. III. Dabei soll aber in Abweichung von der Anordnung der Fig. 49 angenommen werden, der Punkt B falle nicht für die toten Punkte der Kurbel, sondern bei horizontaler Lage der Exzenterhalbmesser in den Drehpunkt D des Gleitrahmens. Dann bleibt also OD nach wie vor senkrecht zur Schubrichtung des Schiebers. Ausserdem muss man, wie immer, die Exzenterstange genügend lang voraussetzen, um den Einfluss der Veränderlichkeit ihrer Neigung vernachlässigen zu dürfen. Nun kann man zunächst die Bewegung von B in der Richtung CC des Gleitrahmens bestimmen. Dabei hat man es mit einer geschränkten Schubkurbel zu thun, und die gesuchten Auslenkungen sind daher gleich den parallel zu CC gemessenen Abständen der Punkte

des Exzenterkreises von seinem senkrecht auf OD stehenden, also horizontalen Durchmesser; Ausgangspunkt ist E . Diese Auslenkungen kann man auch durch ein gewöhnliches Müller'sches Diagramm darstellen, wenn man die horizontale Mittellinie um den Schränkungs-
winkel α bis in die zur Schubrichtung CC senkrechte Lage mm dreht, das Exzenter um den gleichen Winkel im gleichen Sinne mitnimmt und den Exzentermittelpunkt auf der gedrehten Richtung ON durch $EN \perp OE$ einschneidet. Dann sind die Auslenkungen DB auch gleich den senkrecht zu mm gemessenen Abständen der Punkte des Kreises durch N von mm , mit N als Ausgangspunkt.

Die gesuchten Horizontalauslenkungen des Punktes D werden schliesslich gleich den Horizontalprojektionen der Strecken DB , und man erhält sie, indem man die DB im Verhältnisse von $1 : \sin \alpha$ verkleinert. Macht man daher

$$\angle ONP = \angle EON = \angle \alpha \text{ und } OP \perp NP, \text{ also } OP \parallel EN, \quad (74)$$

so ist $OP = ON \cdot \sin \alpha$. Zeichnet man den Kreis durch P , so sind die senkrechten Abstände seiner Punkte von mm gleich den Horizontalauslenkungen von B . Der Ausgangspunkt liegt auf ON in Q . Um diese Auslenkungen im Diagramme auch in horizontaler Lage zu erhalten, muss man noch den ganzen Kreis so drehen, dass die geneigte Mittellinie mm in die vertikale Richtung kommt. Das erfordert eine Drehung um $90^\circ - \alpha$ in dem dem Uhrzeiger entgegengesetzten Sinne. Aus Gleichg. (74) folgt aber, dass auch $\angle NOP = 90^\circ - \alpha$ ist. Daher kommt bei dieser Drehung OQ nach OP , und man erhält P als Anfangspunkt der Kolbenweglinie des Müller'schen Diagrammes für die Horizontalauslenkung von B .

Der Punkt P lässt sich aber noch einfacher bestimmen. Da $OENP$ ein Rechteck ist, so ist auch

$$\angle OEP = \angle EON = \angle \alpha.$$

Man hat also nur nötig $OP \perp OE$ und EP unter $\angle \alpha$ gegen OE zu ziehen und zwar EP nach der Seite, nach der man OE um O drehen müsste, um es auf dem kürzesten Wege in die Richtung ON zu bringen. Der Schnittpunkt P dieser beiden Geraden ist das gesuchte Diagrammexzenter für die Horizontalauslenkung des Punktes B .

Aus den Horizontalauslenkungen der beiden Endpunkte E und B der Koppel lässt sich jetzt nach § 14 die dazu parallele Auslenkung des Punktes F bestimmen. Man muss die gerade Verbindungslinie der Punkte E und P durch K im gleichen Verhältnisse teilen, in welchem auf der Koppel F die Strecke EB teilt. Dann ist K das Diagrammexzenter für die Horizontalauslenkung des Punktes F . Dass sich die

Koppel gleichzeitig auch in vertikaler Richtung bewegt, übt auf diese Entwicklung keinerlei Einfluss aus.

Schliesslich wird die Bewegung noch von F auf G und den Schieber übertragen. Dabei muss man nun, und darf auch stets mit genügender Genauigkeit annehmen, dass die Schieberschubstange verhältnismässig sehr lang sei. Dann bewegen sich die Schieberstange und F in horizontaler Richtung angenähert übereinstimmend, und daher ist K auch das Diagrammexzenter für die Bewegung des Schiebers.

Mit einer Änderung der Einstellung der Steuerung durch Drehung des Gleitrahmens ändert sich der Winkel α , also auch die Neigung der Geraden EP . P bleibt aber auf OP und rückt, wenn α sein Vorzeichen ändert, auf die untere Seite von O . Da sich die Abschnitte der Koppel dabei nicht ändern, so muss K die Strecke EP für alle Einstellungen im gleichen Verhältnisse teilen. Daraus folgt aber, dass der Mittelpunktsort einer Steuerung von Hackworth eine zu OP parallele Gerade wird, die also auch senkrecht auf den Totpunktlagen des Exzenterhalbmessers steht. Für den toten Punkt der Steuerung müsste daher α einen kleinen negativen Wert annehmen.

Macht man dagegen, wie es noch allgemein geschieht, $\beta = 0$, stellt man also das Exzenter der Kurbel gerade gegenüber, so wird der Mittelpunktsort eine vertikale Gerade, und der tote Punkt der Steuerung tritt für $\alpha = 0$ auf.

Die Steuerung von Hackworth ergibt hiernach die gleiche Dampfverteilung, wie die Steuerungen von Gooch und von Walschaert und deren Abarten. Doch beeinflusst das Spiel der Tragfedern bei Lokomotiven die Stellung des Schiebers stärker als bei den früheren Steuerungen, weil dadurch die Stellung des Steines im Gleitrahmen verschoben wird.

§ 45. Entwerfen einer neuen Steuerung.

Dabei muss man, wie bei Walschaert, auch die gegenseitige Lage des Wellmittelpunktes O , der Achse s der Schieberstange und des Cylinders als bekannt voraussetzen, s. Fig. 51, Taf. VII. Dann bestimmt man, wie bei allen übrigen Steuerungen das Diagrammexzenter für die grösste Füllung. Es sei im Maßstabe des Gerippes K . Nimmt man nun zunächst einen vertikalen Mittelpunktsort an, so liegt sein unterer Endpunkt gegenüber der Horizontalen durch O symmetrisch zu K , während der Mittelpunkt des wirklichen Exzenters für die toten Punkte der Kurbel in diese Horizontale fallen muss. Jetzt wählt man den grössten Neigungswinkel, max. α , des

Gleitrahmens. Er darf nicht zu gross werden, weil sich der Stein sonst im Schlitze klemmen könnte, aber auch nicht zu klein, damit der Halbmesser des Exzenters nicht zu gross ausfällt. Den Ausführungen entspricht etwa

$$\max. \alpha \approx 25^{\circ} \text{ bis } 30^{\circ}.$$

Zieht man dann durch K eine Gerade nach rechts unten zu, die gegenüber der Horizontalen unter diesem Winkel geneigt ist, so schneidet sie auf der Horizontalen durch O in E den Mittelpunkt des wirklichen Exzenters ein.

Die Länge der Koppel wählt man zweckmässig so, dass ihr den Schieber führender Punkt F gegenüber s symmetrische Gesamtschläge macht, damit auch die Schieberschubstange auf beiden Seiten von s gleiche grösste Neigungen annimmt. Um das zu erreichen, muss das Stück der Koppel zwischen E und F genau gleich dem Abstände des Punktes O von der Geraden s gemacht werden, also $EF = OF_0$.

Im linken toten Punkte der Kurbel ist die Auslenkung des Schiebers aus seiner Mittellage gleich dem Abstände des Punktes K von der vertikalen Achse des Diagrammes. Bei genügender Länge der Schieberschubstange muss ihr Angriffspunkt F an der Koppel gleichzeitig ebensoweit ausgelenkt sein, also in der Vertikalen f durch K liegen. Die zugehörige Lage von F findet sich daher im Schnittpunkte von f mit einem Kreisbogen um E vom Halbmesser $EF = OF_0$. Zieht man dann noch die Verbindungsgerade EF und verlängert sie bis zum Schnittpunkte D mit OF_0 , so erhält man in D den Drehpunkt des Gleitrahmens, also die Lage der Steuerwelle, und in ED die ganze Länge der Koppel.

Die jetzt noch fehlende Länge der Schieberschubstange lässt sich an einer Zeichnung der ganzen Maschine leicht feststellen, und damit ist dann das ganze Steuerungsgetriebe bestimmt, so genau, wie es mit einem solchen Diagramme überhaupt möglich ist.

Verlangt man veränderliches Voröffnen, so wird der Mittelpunktort eine geneigte Gerade, und der Punkt E kommt auf den zu ihr senkrechten Durchmesser zu liegen. Je nachdem man gleichzeitig den untersten Punkt des Mittelpunktortes wählt, können die grössten Neigungswinkel des Gleitrahmens nach beiden Seiten hin verschieden ausfallen; die Lage von E ist dann so zu bestimmen, dass der grössere Winkel den Grenzwert von $\approx 25^{\circ}$ bis 30° nicht überschreitet. Die Länge EF muss auch gleich OF_0 genommen werden. D bestimmt sich dagegen am besten für den toten Punkt der Steuerung, ausgehend vom Schnittpunkte des Exzenterkreises

mit seinem horizontalen Durchmesser. Der Schieber ist bei diesen Kurbelstellungen für alle Füllungsgrade gleich weit ausgelenkt.

Im Jahre 1876 hat Hackworth ein Patent auf eine andere Form seiner Steuerung genommen, bei der der Angriffspunkt F der Schieberschubstange ausserhalb EB liegt, und zwar auf der Seite von B . Es ist aus einer Zeichnung leicht ersichtlich, dass dabei das Exzenter mit der Kurbel gleich gerichtet und der Gleitrahmen im entgegengesetzten Sinne geneigt sein muss, s. Fig. 51 a, Taf. VII. Beim Entwerfen einer neuen Steuerung dieser Art ist KE nach links unten zu geneigt, und es fällt der Drehpunkt D des Gleitrahmens zwischen O und s .

Das Verhältnis zwischen den Längen $EB_0 = ED \equiv l$ der Exzenterstange und $OE \equiv r$ des Exzenterhalbmessers wird bei beiden Anordnungen übereinstimmend:

$$\frac{l}{r} = \frac{ED}{OE} = \frac{EF}{EK_0} = \frac{OF_0}{KK_0 \cotg \alpha_m} = \frac{OF_0}{KK_0} \tan \alpha_m. \quad (75)$$

Da OF_0 aus der Anordnung der Maschine, KK_0 aus den Annahmen über die Dampfverteilung bei stärkster Füllung bestimmt sind, so ergibt sich das Verhältnis l/r proportional mit $\tan \alpha_m$. Der grösste noch zweckmässige Wert von $\tan \alpha_m$ bleibt unter 0,5, also ziemlich klein. Ist nun auch OF_0 klein gegenüber KK_0 , so wird das Verhältnis l/r ungünstig klein, was eine ungleichmässige Dampfverteilung zur Folge hat. Die Steuerung von Hackworth in dieser einfachen Gestalt ist daher nur für Maschinen geeignet, die einen gegenüber dem Kolbenhube grossen Cylinderdurchmesser besitzen, also namentlich für Schiffsmaschinen. Sie findet sich auch in der That fast nur bei solchen Maschinen ausgeführt.

Die beiden Arten, F zwischen oder ausserhalb EB , ergeben im übrigen nach Gleichung (75) genau gleich gute oder ungünstige Dampfverteilung. In anderer Richtung unterscheiden sie sich aber. Die erste Anordnung, Fig. 51, braucht in der Höhe etwas mehr Platz. Gleichzeitig erhält sie einen grösseren Exzenterhalbmesser, so dass auch der Stein im Gleitrahmen einen grösseren Weg zurücklegen muss. Dagegen verteilt sich der Widerstand der Schieberbewegung an der Koppel von F nach beiden Seiten hin auf E und B , ist also an B kleiner als an F , während bei der zweiten Anordnung der Druck an B grösser wird, als der an F . Diese Vor- und Nachteile gleichen sich also gegenseitig teilweise aus, so dass keine der beiden Anordnungen vor der anderen einen unbedingten Vorzug verdient.

Die beiden Figuren 51 gelten nur für einen Schieber mit äusserer Einströmung. Arbeitet die Maschine mit einem Kolbenschieber mit

innerer Einströmung, so würde K das Diagrammexzenter für die rechte Cylinderseite sein. Man kann dann die Figuren, soweit sie sich auf die eigentliche Steuerung beziehen, ungeändert beibehalten, nur geben sie die Stellung des Getriebes für den rechten toten Punkt der Kurbel. Für den linken toten Punkt rücken K auf OK und E auf dem horizontalen Durchmesser auf die andere Seite von O , während die Neigung des Gleitrahmens für den gleichen Drehungssinn ungeändert bleibt.

§ 46. Abarten der Umsteuerung von Hackworth.

Die Steuerung von Hackworth ist in verschiedenen Richtungen abgeändert worden, und es giebt fast in jeder Richtung wieder verschiedene Anordnungen, die sich von dem hier festgehaltenen geometrischen Standpunkte aus je vollkommen gleichen, die aber doch unter verschiedenen Namen aufgeführt werden.

Eine nur in der Bauart abweichende Steuerung ist die von **Radovanovic**.^{*} Sonst unterscheidet sie sich in nichts von der Hackworth-Steuerung mit ausserhalb angreifender Schieberschubstange. Anwendung hat sie bei einigen Fördermaschinen mit Ventilsteuerung gefunden.

Die übrigen Abarten suchen die ursprüngliche Anordnung in verschiedenen Richtungen zu verbessern.

Um die gleitende Reibung im Gleitrahmen durch Zapfenreibung zu ersetzen, gehen Lenker anzuwenden. So schlägt **Angström**** einen Watt'schen Lenker vor, während **Brown**** seit 1878 mehrfach einen Conchoïden-Lenker angewendet hat, s. Fig. 52, Taf. V, wo der Punkt B die angenähert geradlinige Führung übernimmt. Die hier bei P auftretende gleitende Reibung ist nur noch auf einem bedeutend kleineren Wege zu überwinden. D bezeichnet die Steuerwelle.

Bei der geradlinigen Gestalt des Hackworth'schen ursprünglichen Gleitrahmens fällt die Dampfverteilung wegen der endlichen Länge der verschiedenen übertragenden Stangen ungleichmässig aus. Dem geht durch Krümmung des Gleitrahmens zu begegnen. Der erste, der einen solchen gekrümmten Gleitrahmen angewendet hat,

^{*} D. R.-P. Kl. 14, Nr. 51247 und Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1890, 560.

^{**} Engineering 1886, II, 360, Angström Fig. 7, Brown Fig. 10, und 1889, II, 613 u. ff.

war 1867 **Brown**.^{*} Von 1879 an hat dann **Joy**^{**} seine später noch genauer zu besprechende Steuerung mit einem nach der Schieber Schubstange gekrümmten Gleitrahmen häufig ausgeführt. Durch die letzte Anordnung wird nur die endliche Länge dieser Stange ausgeglichen. Will man dabei auch die übrigen Stangen berücksichtigen, so geht man am besten so vor, dass man für die am meisten benutzte Einstellung der Steuerung die Lagen des Steines in den Hauptpunkten der wirklich verlangten Dampfverteilung zeichnet und möglichst durch diese Punkte und natürlich auch genau durch den Drehpunkt der Steuerwelle eine stetig gekrümmte Linie legt. Sollen verschiedene Einstellungen möglichst gleich gute Dampfverteilung ergeben, so muss man mehrere solcher Punktreihen bestimmen und dann eine mittlere gekrümmte Linie auswählen. Diese kehrt gewöhnlich einem Flachschieber mit äusserer Einströmung die hohle Seite zu, einem Kolbenschieber mit innerer Einströmung die volle.

Wegen der leichteren Herstellung wird eine solche Krümmung gewöhnlich durch einen Kreisbogen ersetzt. Und da liegt der Gedanke nahe, zur gleichzeitigen Vermeidung der gleitenden Reibung den Stein von einem festeingestellten Punkte aus durch eine Schwinge zu führen. In der That hat schon Hackworth selbst 1859 (S.) ein Patent auf eine solche Anordnung genommen, s. Fig. 53, Taf. V. Auf der Steuerwelle D wird dabei ein Arm DH aufgekeilt, dessen Endpunkt H den Drehpunkt für die Schwinge HB bildet, die ihrerseits die Exzenterstange in B fasst. Zur Sicherung der Unveränderlichkeit des Voröffnens und der Mittellage des Schiebers muss $HB = HD$ gemacht werden, damit der Punkt B bei allen Einstellungen genau durch die Achse der Steuerwelle hindurchgeht. Sollten HB und HD eine zu grosse Länge erhalten, so könnte die Annäherung auch mit einem Conchoïdenlenker, wie in Fig. 52, Taf. V, gemacht werden, nur müsste die Koppel z. B. in B' angreifen und D nach D' verlegt werden.

Die Anordnung mit Schwinge ist später auch unter den Namen von **Klug** und von **Marshall** patentiert[†] und häufig ausgeführt worden. Klug lässt die Schieberschubstange stets ausserhalb

^{*} Engineering 1886, I, 61.

^{**} Smith in Engineering 1889, II, 613 u. ff. Auf diese Veröffentlichung habe ich mich weiterhin mehrfach zu beziehen und thue das einfach durch ein Hinzufügen von «(S.)».

[†] Klug, D. R.-P. Kl. 14, Nr. 6648, von 1878, englisches Patent vom 12. August 1879. Marshall, englisches Patent vom 14. Okt. 1880. Nach Angaben von Hrn. Ing. Klug.

angreifen, so dass man solche Steuerungen auch als Hackworth-Klug'sche benennt. Die mit innerhalb liegendem Angriffspunkte heissen dann Hackworth-Marshall-Steuerungen; Marshall legt aber den Angriffspunkt auch oft aussen hin. Für die Klug'sche Anordnung giebt Ebbs an*, die Firma Janssen & Schmilinsky in Hamburg habe folgende Verhältnisse als günstig ausprobiert, vgl. Fig. 53, aber mit F ausserhalb B :

$$\begin{aligned} \text{für Füllungen } \leq 50\%: & \quad OD = 6 \cdot OE, & \quad EF = 1,6 \cdot EB \\ \text{für Füllungen } \geq 50\%: & \quad OD = 6,8 \cdot OE, & \quad EF = 1,5 \cdot EB, \\ \text{dabei } BH = DH = & \quad (8 \text{ bis } 9) OE. \end{aligned}$$

Bremme hat 1879 in England eine wesentlich gleiche Anordnung patentiert erhalten (S.), die auch von Anderen gelegentlich nach ihm benannt wird. Die Schwinge ist auf der dem Schieber abgewendeten Seite gelagert, so dass Kolbenschieber voraussetzen wären. Es werden aber auch Steuerungen mit gekrümmtem Gleitrahmen unter seinem Namen aufgeführt**. Eine Anordnung dagegen, die mit der von Klug vollkommen übereinstimmt, ist auch von **Jack** (S.) angegeben worden.

Woolf und **Williamson***** wollen die Stangenlängen dadurch ausgleichen, dass sie den Gleitrahmen zwar geradlinig ausführen, seinen Drehpunkt aber neben die Mittellinie legen. Das hätte eine Veränderlichkeit des Voröffnens und namentlich auch der Mittellage des Schiebers zur Folge, so dass diese Anordnung nicht gut wäre.

Andere Abarten der ursprünglichen Steuerung von Hackworth suchen das Exzenter zu umgehen.

Schon 1878 hat **Brown** als erster die Koppel von einem Punkte der Kurbelstange aus bewegt (S.), s. Fig. 54, Taf. VII. Dabei geht der Punkt B noch beliebig entweder in einem Gleitrahmen oder von einem Lenker oder auch durch eine Schwinge zu führen. Mit einer Schwinge, deren Drehpunkt in einer Bogenschleife verstellt wird, ist diese Steuerung auch der Firma **Gebr. Sachsenberg**† patentiert, ebenso in England **Lamplough** und **Bauer**††. Gelegentlich ist es auch möglich, die Koppel unmittelbar von der Triebkurbel, oder bei Lokomotiven von einem Punkte einer Kuppelstange ausgehen zu lassen.

* Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1885, 969.

** Engineering 1889, II, 444.

*** In England 1889 auf den Namen **Redfern** patentiert. Engineering 1889, I, 743.

† D. R.-P. Kl. 14, Nr. 62118. Englisches Patent auf den Namen **Boult**. Engineering 1892, I, 123.

†† Engineering 1893, II, 469.

Alle diese Anordnungen gestatten aber nicht, das Voröffnen veränderlich zu machen.

Um bei Ableitung der Bewegung von einem Punkte der Kurbelstange den Einfluss der veränderlichen Neigung der Koppel einigermaßen auszugleichen, schaltet **Brown***, s. Fig. 55, Taf. VII, noch einen Zwischenhebel QR ein, dessen Endpunkt R um den festen Punkt P drehbar ist. Verglichen mit den Totpunktstellungen steht der Stein B bei senkrechter Kurbelstellung zu hoch, und zwar angenähert um den Überschuss der Länge der Koppel EB über ihre Vertikalprojektion bei stärkster Neigung. Senkt man daher für die senkrechte Kurbelstellung den Punkt E um diesen Überschuss, den Punkt R also um entsprechend mehr, so wird die endliche Länge der Koppel möglichst ausgeglichen. P bestimmt sich dann als Mittelpunkt des Kreises, der durch die drei Lagen von R geht. Zum gleichen Zwecke wendet **Sisson** (S.) eine Hebelanordnung an, wie Kirk, Fig. 29, Taf. IV. Beide Anordnungen stimmen übrigens wesentlich überein, nur die Reihenfolge der Punkte auf dem Zwischenhebel ist eine andere und der feste Drehpunkt liegt auf verschiedenen Seiten der Cylinderachse. Verschiebt man diesen Punkt seitlich, so kann man bei den Anordnungen mit einem solchen Zwischenhebel veränderliches Voröffnen erreichen.

Ebenfalls eine gewisse Ausgleichung der endlichen Länge der Exzenterstange wird durch eine Anordnung bezweckt, die zuerst von **Morton**** ausgeführt worden zu sein scheint, allerdings bei einer anderen, später noch zu behandelnden Steuerung; die Anordnung kommt aber auch bei Hackworth-Steuerungen vor. An der Hauptkurbel OA , s. Fig. 56, Taf. VI, ist noch eine Gegenkurbel genau nach einwärts angebracht; natürlich könnte aber auch ein Exzenter mit N als Mittelpunkt angewendet werden. Von N geht eine Exzenterstange NE im Mittel in horizontaler Richtung aus. Ihr Endpunkt E wird von einer Schwinde PE gefasst, deren Drehpunkt P an einem seitlichen Ansatz der Kolbenstange, ungefähr in der Mitte ihrer Länge, angebracht ist. Durch diese Anordnung wird der Punkt E in einer birnenförmigen Bahn geführt, die aber nach allen Richtungen kleiner bleibt als der Kurbelwarzenkreis. Je nach der Grösse von ON gegenüber OA und der Lage des Punktes P auf der Länge der Kurbelstange nimmt diese Bahn verschiedene Verhältnisse an. E ist wieder der unterste Punkt der Koppel. Das Verhalten des Voröffnens hängt,

* Engineering 1886, I, 61.

** D. R.-P. Kl. 14, Nr. 24127. Englisches Patent 1882 (S.).

wie bei der vorigen Anordnung, davon ab, ob der Punkt E für die beiden toten Punkte der Kurbel in gleiche oder verschiedene Höhen gebracht wird, und das hat man durch die Wahl der Länge von NE gegenüber AP in der Gewalt. Es scheint zweckmässig, der Schwinge PE gegenüber der Kurbelstange einen Gesamtausschlagswinkel von etwa 90° zu geben.

In einer anders beschaffenen Bahn will **Holst*** den Punkt E führen. Von einem kleinen Exzenter ON , Fig. 57, Taf. V, erstreckt sich die Exzenterstange nach beiden Seiten hin. Auf der E entgegengesetzten Seite ist sie gezwungen, durch den am Maschinenrahmen fest angebrachten Punkt P zu gehen. So beschreibt aber E eine gegenüber ihrer vertikalen Mittellinie unsymmetrische Bahn, und daher kann diese Anordnung keine gute Dampfverteilung ergeben. Für kleinere Füllungen wird allerdings der Einfluss der Kürze der Kurbelstange etwas ausgeglichen, für grössere aber verstärkt. Auch an Reibungsarbeit am Exzenter wird nichts gewonnen, denn der Reibungsweg wird zwar kleiner, dafür aber der Reibungsdruck um so grösser; ausserdem kommt die Reibung bei P noch besonders hinzu. Holst schlägt auch vor, statt dieser Führung bei P , einen Punkt der Exzenterstange in einem Kreisbogen zu bewegen. Bei beiden Anordnungen folgen sich die Punkte auf der Koppel in der Reihenfolge E, B, F , und B wird durch eine Schwinge geführt. Eine wesentlich gleiche Steuerung ist auch **Bendermann**** patentiert, nur dass bei ihr auf der Koppel E zwischen B und F liegt und B in einem gekrümmten Gleitrahmen geführt wird. Der zweiten Anordnung von Holst gleicht äusserlich eine Steuerung von **Otto**†, sie ändert aber auch die Neigung des Kreisbogens, in dem der unterstützte Punkt der Exzenterstange geführt wird. Eigentlich besteht sie also aus einer Aneinanderreihung von zwei Hackworth-Steuerungen mit Schwingen; der Punkt F der ersten Koppel ist gleichzeitig der Punkt E für die zweite. Zum Umsteuern werden beide Schwingen von derselben Steuerwelle aus im entgegengesetzten Sinne verstellt.

Eine eigentümliche Anordnung zur Vermeidung eines Exzenters auf der Kurbelwelle hat **Bremme** vorgeschlagen (S.). Er will von einem Punkte der Kurbelstange aus durch eine Prismenführung eine besondere, zwischen der Kurbelwelle und dem Cylinder gelagerte Welle drehen und auf diese das Exzenter aufkeilen.

* D. R.-P. Kl. 14, Nr. 31568. Zeitschr. d. Vereines deutscher Ing. 1888, 994.

** D. R.-P. Kl. 14, Nr. 57899. Daselbst 1891, 1276.

† D. R.-P. Kl. 14, Nr. 98293. Daselbst 1898, 1121.

Die ursprüngliche Anordnung von Hackworth gestattet nur bei Schiffsmaschinen, der Exzenterstange eine genügende Länge zu geben. Bei anderen Maschinen muss man diese Stange durch besondere Anordnungen zu verlängern suchen. Das ist auch schon verschiedenartig geschehen.

Am einfachsten geht es dadurch zu erreichen, dass man den Schieberspiegel gegenüber der Achse des Cylinders stark neigt. Diese Anordnung findet sich angewendet bei den **Abt'schen** Zahnradlokomotiven für Lehesten-Oertelsbruch, gebaut von der Schweizerischen Lokomotiv- und Maschinenfabrik in Winterthur.

Die gleiche Fabrik ordnet an kleinen Bau-Lokomotiven die Steuerung so an, dass sie die Exzenterstange verhältnismässig lang macht und dann zwischen die Schubstange und die Schieberstange einen zweiarmigen Hebel einschaltet.*

Ein ähnliches Mittel ist von **Brown**** an einer Schiffsmaschine auf dem Genfersee angewendet und auch von **Henderson** (S.) vorgeschlagen worden. Beide führen die Exzenterstange wesentlich in der Richtung der Kurbelstange ab und übertragen dann die Bewegung durch einen Winkelhebel auf die Richtung der Schieberstange. Wesentlich gleich ist eine Anordnung von **Wyllie** (S.) für Schiffsmaschinen, nur dass die Exzenterstange im Mittel gegenüber der Achsrichtung des Cylinders geneigt steht.

Auf eine andere Anordnung zur Verlängerung der Exzenterstange haben 1877 **Brown** in Deutschland und England und 1879 **Joy** in England Patente genommen.† Diese Anordnung wird jetzt allgemein als Steuerung von Joy benannt; sie findet sich sehr häufig auf Schiffen und Lokomotiven ausgeführt. Zunächst soll aber nicht diese Steuerung selbst erläutert, sondern eine etwas abweichende Anordnung untersucht werden.

In Fig. 58, Taf. V, sei vorausgesetzt, dass von der Triebkurbel A neben der Kurbelstange und in derselben Richtung eine gleich lange Stange AN ausgeht, deren Endpunkt N durch die bei P festgelagerte Stange PN in einem Kreisbogen so geführt wird, dass er für die beiden toten Punkte der Kurbel mit dem Kreuzkopfpapfen zusammenfällt. Auf der Stange AN ist ein Drehzapfen Q angeordnet und durch Hinzufügung zweier weiterer Stangen PR und QR ein Watt'sches

* Die beiden letzten Anordnungen nach dem Album der Fabrik.

** Engineering 1881, I, 35.

† Daselbst 1886, I, 61.

Parallelogramm $PNQR$ hergestellt. Daher beschreibt der Schnittpunkt E von QR mit PA einen Kreis um O_1 , dessen Halbmesser kleiner ist als der Kurbelarm und der tiefer liegt, so dass die Exzenterstange EB eine verhältnismässig grössere Länge erhält.

In Wirklichkeit wird nun keine besondere Stange AN hinzugefügt, sondern der Punkt Q auf die Kurbelstange selbst gelegt und gleichzeitig natürlich auch die Schwinge PN weggelassen. Dadurch steht aber Q , ausser in den beiden toten Punkten der Kurbel, zu tief, und dieser Fehler überträgt sich auch durch die Stange QR auf den Punkt E . Am grössten wird die Abweichung bei vertikaler Stellung der Kurbel. Da der Stein aber dann infolge der endlichen Länge der Koppel verhältnismässig zu hoch steht, so ist diese Verschiebung von E nur günstig. Bei gewissen Längenverhältnissen kann es sogar wünschbar werden, E noch mehr zu senken. Das geht auch durch eine Verlängerung der Stange PR , d. h. durch eine Verschiebung von P nach rechts hin zu erreichen, wenn es auch nicht gerade viel nützt. Die günstigste Lage von P muss man ausprobieren, indem man mit den übrigen vorher gewählten Längen für die eigentlich gewollte Dampfverteilung die Bahn des Punktes R bestimmt und diese schliesslich durch einen Kreisbogen ersetzt. Das giebt dann die eigentliche Steuerung von **Joy**, richtiger von **Brown**, die übrigens den Punkt B der Koppel mit einem Steine in einem nach der Schieberstange gekrümmten Gleitrahmen führt. Es kommen aber auch geradlinige Gleitrahmen und Schwingen vor. Bei Anwendung einer Schwinge will **Fox*** ihren Drehpunkt in einem kreisförmig gekrümmten Schlitz verstellen, wie die Gebr. Sachsenberg.

Um einen besonderen festen Drehpunkt P zu vermeiden, wird von **Joy** auch die in Fig. 59, Taf. VII, dargestellte Anordnung angewendet. Der Punkt P ist am Kreuzkopfe angebracht und geht mit ihm hin und her. Wählt man die Verhältnisse so, dass die vier Punkte $QNPE$ ein Parallelogramm bilden, so beschreibt E genau die gleiche Bahn, wie Q , nur um die Strecke NP tiefer. Die übrigen Stücke bewegen sich daher so, wie bei unmittelbarer Ableitung von einem Punkte der Kurbelstange. Wenn bei Schiffsmaschinen die Luftpumpe vom Kreuzkopfe aus durch einen zweiarmigen Hebel angetrieben wird, so legt **Joy** den Punkt P auf diesen Hebel und gleichzeitig den Punkt Q auf die entgegengesetzte Seite neben die Mittellinie der Kurbelstange.**

* Fränzel, Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1889, 1045 und Taf. XXXVIII, Fig. 57.

** Z. B. Engineering 1885, I, 344.

Die Schweizerische Lokomotiv- und Maschinenfabrik in Winterthur lässt dagegen bei Lokomotiven die Stange QE ganz weg und fasst dafür einen Punkt R der Koppel durch die gestrichelt eingezeichnete Stange QR . * Damit geht der nachteilige Einfluss der Veränderlichkeit der Neigung der Koppel teilweise auszugleichen.

Obwohl es aus gelegentlichen Bemerkungen schon hervorgeht, möge doch ausdrücklich noch einmal darauf hingewiesen werden, dass die verschiedenartigen Abänderungen der ursprünglichen Hackworth'schen Anordnung im allgemeinen beliebig mit einander vereinigt werden können.

Ausser den bisher besprochenen Abarten der Steuerung von Hackworth sind noch einige zu erwähnen, die in anderen Richtungen von ihr abweichen.

Bagnall** hat kleine Lokomotiven mit einer Steuerung ausgerüstet, wie sie in Fig. 60, Taf. VI, dargestellt ist. Von der Kurbel A geht eine besondere Exzenterstange AE aus, die den untersten Punkt E der Koppel unmittelbar und unveränderlich führt. Der andere Punkt B wird von dem an AE angeordneten Punkte Q aus über R veränderlich bewegt und R selbst nach Hackworth durch die um D einstellbare Schwinge HR geführt. Eine ähnliche Anordnung rührt auch von **Brown***** her, bestimmt für Lokomotiven, welche die Bewegung vom Kolben auf die Kurbel durch einen zweiarmigen Hebel übertragen. Der Punkt E der Koppel wird hier von einem Punkte dieses Hebels mitgenommen, während der Punkt Q an der Kurbelstange angebracht ist.

Auch von **Douglas**† ist eine hierher gehörige Steuerung angegeben worden. Der unterste Punkt der Koppel wird vom Kreuzkopfe durch eine kurze Zugstange mitgenommen, der andere von einem senkrecht zur Kurbel stehenden Exzenter, dessen Stange nach Hackworth veränderlich geführt wird und die ihre Bewegung durch einen zweiarmigen Hebel auf die Koppel überträgt.

Ähnlich wie Belpaire gegenüber Walschaert will **Carriek**†† die Bewegung der Koppel in der Richtung der Schieberbewegung vom gleichseitigen, die dazu senkrechte vom entgegengesetzten Kreuzkopfe aus ableiten.

* Album der Fabrik und daraus z. B. Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1898, 173, 295.

** Engineering 1895, I, 741.

*** Dasselbst 1886, I, 61.

† Dingler 1887, 265, 113.

†† Engineering 1893, I, 759.

Je mehr übertragende Teile eine solche Steuerung besitzt, desto eher wird es möglich sein, eine gute Dampfverteilung zu erreichen, desto mehr Mühe muss aber das Ausprobieren günstigster Verhältnisse verursachen. Das Diagramm fällt dagegen für alle diese Anordnungen gleich aus.

Zum Abschlusse dieser Zusammenstellung möge noch die Steuerung von **Walker** und **Patterson** * erwähnt werden, Fig. 61, Taf. VII. Der unterste Punkt *E* der Koppel wird unmittelbar durch die Exzenterstange *NE* gefasst. Diese Stange ist mit einem Schlitz versehen, in dem der um *P* drehbare Stein *H* durch eine in der Zeichnung fortgelassene Schraube eingestellt wird. Mit der Einstellung ändert sich die Füllung, weil die Vertikalbewegung der Koppel dadurch geändert wird. Der Stein *B* bewegt sich dabei in dem geradlinigen Gleitrahmen, der um *D* drehbar ist, der aber nur zur Änderung des Drehungsinnes in seinen äussersten Lagen verwendet wird. Zum Umsteuern müssen also zwei Handgriffe benutzt werden. Vom Mittelpunktsorte gelten nur zwei begrenzte Stücke für grössere Füllungen. Diese Steuerung giebt eine schlechte Dampfverteilung, weil *E* infolge der Führung von *H* in einem Kreisbogen eine unsymmetrische Bahn beschreibt.

III. Abschnitt.

Umsteuerungen durch Änderung der Schränkung.

1. Kapitel.

Die Umsteuerung von Morton.**

§ 47. Beschreibung der Steuerung.

Die Steuerung von Morton, s. Fig. 62, Taf. VII, leitet die Bewegung des Schiebers ohne ein besonderes Exzenter ab und zwar durch ein Getriebe, wie es schon bei den Abarten der Steuerung von

* Zeitschr. d. Vereines deutscher Ing. 1889, 1043 u. Taf. XXXVII, Fig. 46.

** Englisches Patent von 1882 nach Smith, Engineering 1889, II, 641. D. R.-P. Kl. 14, Nr. 24127. Wochenschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1883, 475.